

Volume 25, Issue 2, 2025, 67-84 DOI: 10.22034/25.2.67



Prediction of coastal berm changes in non-storm conditions using neural network

A. Jabari¹, M. Adjami^{*2}, S. Gharechelou²

1. Ph.D. Student of Coastal Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

- 2. Assistant Professor of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
- Abstract

Coastal areas are among the most densely populated and developed regions globally. This is owing to high economic opportunities, maritime trade access, and a thriving tourism industry. These regions represent vulnerable environments facing threats such as storms and rising sea levels, predominantly stemming from human activities. Erosion stands out as one of the most pressing threats to these regions. It is crucial to continuously monitor these areas, record changes in beach profiles and shoreline alterations, and control erosion. This research looks into changes in the shoreline and coastal berm under non-storm conditions, employing machine learning algorithms to evaluate these phenomena in the Narrabeen coastal region of Australia. The Narrabeen-Collaroy embayment, spanning 3.6 kilometers, is located on the northern shores of Sydney. Narrabeen-Collaroy is among the most crucial databases in coastal engineering. Field data from the nearshore and coastal strip have been collected in this database from 1976 to 2019. Therefore, data related to storm profiles have not been considered (a condition that requires at least one profile to remain in each month). Based on this criterion, out of the 960 recorded profiles, 73 profiles were identified in severe storm conditions. Eventually, 887 profiles from 2006 to 2019 have been scrutinized. Initially, variations in the shoreline were investigated, focusing on the continuous area consistently interacting with waves. This region can play a significant role in evaluating the performance of models and algorithms. The geometric changes of the coastal berm, situated within the Shoreface zone, were investigated and analyzed. In this research, a wrapper backward future selection algorithm has been used to filter the effective parameters consisting of hydrodynamics and morphodynamics. Also, the objective functions include shoreline changes, variations in berm crest elevation, and the horizontal position of the berm crest. In this step, the parameters identified from the wrapper backward future selection algorithm, a feed-forward neural network algorithm was employed to predict the objective functions in the final stage. The values obtained from the neural network model for each of the three objective functions demonstrated an appropriate arrangement of parameters. When predicting shoreline changes in scenario DS4, including the wave-breaking index parameter led to more logical and acceptable outcomes compared to scenario DTS3; the resulting R^2 is 92% with an RMSE of 3.03 meters. Predicting variations of the berm crest elevation in scenario DY4 illustrates acceptable results: R² of 75% and RMSE of 0.35 meters. Furthermore, predicting the horizontal position of the berm crest in scenario DX7 shows that the wave-breaking index parameter, improved results compared to scenario DX6, the final results indicate an R² of 85.80% and an RMSE of 9.28 meters. To validate the obtained results, the differences in error between the objective function values and output data indicate that the selected scenarios predict data with minimal error. According to the results, it is crucial to accurately identify the relevant hydrodynamic and Morphodynamic parameters and correctly extracted them to achieve more precise predictions. Moreover, the results indicate that the neural network algorithm can accurately predict changes in beach morphology..

Review History

Received: Apr 30,2024 Revised: Jul 01, 2024 Accepted: Jul 10, 2024

Keywords

Berm Crest Shoreline Changes Coastal Morphodynamic Non-Storm Condition ANN Algorithm.

Corresponding Author Email: adjami@shahroodut.ac.ir - ORCID: 0000-0002-0530-0411



Copyright © 2025, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.



مجله علمی مهندسی عمران مدرس

دوره ۲۵، شماره ۲، سال ۱۴۰۴ – صفحات ۶۷ تا ۸۴ DOI: 10.22034/25.2.67



پیش بینی تغییرات سکوی ساحلی در شرایط غیر طوفانی به کمک شبکه عصبی

امير جباري'، مهدي عجمي ملك، سعيد قره چلو

- دانشجوی دکتری، مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
 - استادیار، مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
 - ۳. استادیار، مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

چکیدہ

تاریخچه داوری دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۲ ملمات کلیدی سکوی ساحلی مورفودینامیک ساحلی شرایط غیر طوفانی الگوریتم شبکه عصبی

در مطالعه خود در سواحل غربی آفریقا نشان دادند که اجرای

سیستم منطقهبندی و پایش منظم سواحل میتواند رویکردی پایدار

برای مدیریت نواحی ساحلی ایجاد نماید [1]. پوپلامپو و همکاران

با بررسی سواحل شرقی غنا دریافتند که؛ نـرخ فرسـایش در ایـن

مناطق بسیار بالا بوده و نظارت مستمر به همراه استراتژیهای

مبتنی بر اکوسیستم برای دستیابی به مدیریت پایدار ساحلی

ضروری است [2]. احمد و همکاران پایش میزان فرسایش در

بخشهایی از سواحل هند را بـه کمـک تصاویر مـاهوارهای بـرای

مديريت صحيح اين نواحي توصيه نمودهاند [3]. همچنين بيگ و

همکاران نیز پایش و مدیریت سواحل شرقی بنگلادش برای کنترل

فرسایش را ضروری ارزیابی نمودند [4]. زولینی و همکاران

فرسایش نواحی ساحلی از مهمترین عوامل مخرب این مناطق است که تحت تاثیر عوامل طبیعی و فعالیت های انسانی ایجاد میشود. این نواحی زیر مجموعه مناطق آسیب پذیر به شمار میآیند و بدین لحاظ نظارت و پایش مستمر آن ها اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش ابتدا به کمک الگوریتم انتخاب ویژگیها، دستهبندی پدیدههای تاثیرگذار در ناحیه ساحلی نارابیین استرالیا در شرایط غیر طوفانی انجام شده است. در ادامه به کمک الگوریتم شبکه عصبی، پیش بینی توابع هدف شامل؛ تغییرات خط ساحل، تغییرات قائم و موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی انجام گرفته است. برای پیش بینی توابع مدف شامل؛ تغییرات خط ساحل، تغییرات قائم و موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی انجام گرفته است. برای پیش بینی توابع هدف شامل؛ تغییرات خط ساحل، تغییرات قائم و موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی انجام گرفته است. برای پیش بینی تعییرات خط ساحل انجام گرفته است که نتایج حاصل از سناریو انتخابی، مقدار خطای RMSE را برای پیش بینی تعییرات خط ساحل انجام گرفته است که نتایج حاصل از سناریو انتخابی، مقدار خطای RMSE را ارتفاعی تاج سکوی ساحلی در سناریو منتخب، خطای RMSE را ۳۸۰ متر و ²R را ۲۵/٪ نشان می دهد. همچنین نتایج حاصل از پیش بینی موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی در سناریو منتخب، خطای RMSE را ۸۵/٪ زیادی بیش بینی موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی در سناریو منتخب، خطای RMSE را ۸۵/٪ نشان می دهد. همچنین نتایج نتیجه می دهد. جمع بندی نتایج نشان می دهد که دسته بندی پارامترهای بدست آمده از مدل انتخاب ویژگی کمک مورفودینامیک ساحلی، مناسب و قابل اعتماد است.

۱- مقدمه

مناطق ساحلی عموما به دلیل وجود فرصتهای اقتصادی بالا، دسترسی به تجارت حمل و نقل دریایی و صنعت توریسم، از پرجمعیت ترین و توسعه یافته ترین مناطق در جهان به شمار میروند. این مناطق با تهدیداتی از قبیل فرسایش، طوفانها و افزایش تراز آب دریا مواجه هست که بخشی از این تهدیدات نتیجه فعالیتهای انسانی بوده و از مهمترین تهدیدات این نواحی فرسایش است. بدین جهت نظارت مستمر بر این نواحی از قبیل ثبت تغییرات نیمرخهای ساحلی، تغییرات خط ساحل و لزوم کنترل فرسایش اهمیت زیادی دارند. در این زمینه پژوهش های متعددی انجام گرفته که در ادامه بررسی میشوند. آلوز و همکاران

* رايانامه نويسنده مسئول: ORCID – adjami@shahroodut.ac.ir: رايانامه نويسنده مسئول:

Creative کپی رایت © ۲۰۲۵. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس (TMU Press). این مقاله بهصورت دسترسی آزاد منتشر شده و تحت مجوز بین المللی Creative کپی رایت © ۲۰۲۵. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس (TMU Press). این مقاله بهصورت دسترسی آزاد منتشر شده و تحت مجوز بین المللی By No ورار دارد (Commons Attribution-NonCommercial 4.0 قرار دارد (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0). بر اساس این مجوز، شما می توانید این مطلب را در هر قالب و رسانهای کپی، بازنشر و باز آفرینی کنید و یا آن را ویرایش و بازسازی نمایید، به شرط آنکه نام نویسنده را ذکر کرده و از آن برای مقاصد غیر تجاری استفاده کنید.

درمطالعه خود نشان داد که الگوریتم J-Net Dynamic ابزاری قدرتمند برای استخراج دقیق خط ساحل بوده و به مدیریت بهتر مناطق ساحلی کمک مینماید [5]. همچنین در تحقیقات دیگر، استفاده از سازههای حفاظتی را یکی از اقدامات موثر بـرای کنتـرل فرسایش معرفی مینمایند[6 و 7]. فرناندز مونتبلانک و همکاران در بررسی های خود دریافتند که؛ بازسازی تیه های ساحلی به کمک افیزایش بودجیه رسیوبی اقیدامی میوثر بیرای کیاهش فرسیایش و خطرات ناشی از آن در ساحل بلوکیـو ایتالیـا هسـت کـه از آن بـه عنوان یک راه حل مناسب برای مقابله با افزایش تـراز آب دریـا در آینده نیز می توان بهره برد [8]. فلور بلانکو و همکاران، تغییرات ژئومورفولوژی سواحل آستوریاس اسپانیا را از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۴، مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که افزایش رويدادهاي طوفاني قدرتمند، اصلي ترين كاتاليزور بـراي فرسـايش شدید تپه های ساحلی هست [9]. در مطالعهای دیگر لمکه و میلر به نقش شدت طوفان و آسیبپذیری سواحل در کنتـرل فرسـایش تپهها پرداختهاند و دریافتند که پیک شدت فرسایش مهمترین یارامتر تغییرات در تیه های ساحلی است [10]. هـارلی و همکـاران در مطالعه خود روی سه مجموعه از داده های بازیابی شده طوفان های شدید در مناطقی از استرالیا، بریتانیا و مکزیک نشان دادند که؛ اطلاعات کم از بودجه رسوبی کوتاه مدت طوفان های شدید، پارامتر مهمی برای افزایش اطمینان در پیش بینیهای خط ساحل هست [11]. ژنگ و همکاران نیـز اهمیـت در نظـر گـرفتن فرآيندهاي ناشي از امواج مانند: جريان، چولگي، عدم تقارن و آثار شیب بستر را برای پیش بینی دقیق حمل رسوبات معرفی نمودند [12]. مطالعات دیگری نیز در زمینه انتقال رسوب و کنترل فرسایش نواحی ساحلی انجام گرفته است [13 و 14].

گسترش علم یادگیری ماشین و همچنین توسعه الگوریتمها در کنار تحقیقات آزمایشگاهی، میدانی و عددی، کمک شایانی به شناخت هرچه بیشتر نواحی ساحلی نموده است. سایتهای علمی تحقیقاتی زیادی در زمینه جمع آوری دراز مدت دادههای محیطی و میدانی در مناطق ساحلی هلند، انگلستان، آمریکا، استرالیا و ... در حال فعالیت هستند که طی سالهای اخیر به شکل گیری مطالعات ارزشمندی توسط پژوهشگران در حوزه علوم سواحل کمک نمودهاند. دن بیمان و همکاران؛ مدل یادگیری ماشین جدیدی بنام XGBoost را برای پیشبینی روگذری موج متوسط ارائه نمودند که

عملکرد بهتری نسبت به روش های دیگر برای مجموعه داده های آزمایشی با امواج نرمال دارد [15]. یین و همکاران، نظارت بر تغییرات خط ساحل در منطقه نهاترانگ را به کمک سه مدل؛ میانگین متحرک یکپارچه، شبکه عصبی رگرسیونی و حافظه کوتاه مدت طولانی، با مدل تابع متعامد تجربی مقایسه نمودند و در نهایت هر سه مدل از مدل تجربی بهتر عمل نموده و به کمک دوربین های نظارتی در شرایط آب و هوایی شدید بسیار موثر عمل میکنند [16]. بلینگ هاوزن و همکاران نیز به کمک الگوریتم جنگل تصادفی، شرایط حاد دریا در سواحل بالتیک را به مدت ۳ روز با نتایج قابل عنوان سیستم هشدار وضعیت حاد دریایی کمک گرفت [17]. همچنین مقالات مروری مرتبط با کاربردهای یادگیری ماشین در فرآیندهای ناحیه ساحلی نیز توسط دیگر پژوهشگران ارائه شده است [18 و 19]. تحقیقات مشابه دیگری نیز به کمک الگوریتم های یادگیری ماشین انجام گرفته است [20 تا 26].

وجود مجموعه دادههای غنی و درازمدت میتواند بـه رشـد و توسعه بهتر الگوریتمهای یادگیری ماشین کمک نماید. در این راستا یایگاههای متعددی در نقاط مختلف دنیا جهت ثبت دادههای مورفودینامیک، هیـدرودینامیک و پایش سـاحل در حـال فعالیـت هستند که سواحل ماسه ای نارابیین، سن دیگو و ... زیـر مجموعـه آنها هستند. بیوزن و همکاران در پژوهشی در ساحل نارابیین، سه روش اصلی گسسته سازی (دستی، بدون نظارت و نظارت شده) را در شبکه بیزین برای پیش بینی فرسایش ساحل مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که روش های نظارت شده بالاترین مهارت پیش بینی و به دنبال آن روش های دستی و بدون نظارت قرار دارند [27]. پژوهش دیگری توسط بیوزن و همکاران بر تغییرات خط ساحلی نارابیین انجام گرفت که از رویـدادهای طوفـانی توسـط الگـوریتم بیزین برای پیشبینی بهره بردند. نتایج نشان داد که مدل بیزین توانایی مناسبی برای پیش بینی فرآیندهای پیچیده ساحلی دارد. همچنین مقادیر خروجی در بخـش پـیش.بینـی دارای ۳ پـارامتر و مهارت ۶۵٪ در مشاهده دادهها ارائـه نمـوده اسـت [28]. زينلـي و همکاران در تحقیقات خود در ساحل نارابیین دریافتند که استفاده از شبکههای عصبی مصنوعی نارنت و نارکس نت میتواند عملکرد قابل اعتمادی را برای پیش بینی تغییرات خط ساحل با تعداد پارامترهای کمتر ارائه دهد [29]. هارلی و همکاران مجموعه

بزرگی از دادههای فرسایش ناشی از طوفان را ارائه نمودهاند. این مجموعه شامل ۲۷۶ رویداد طوفانی در ساحل نارابیین-کولاروی میباشد که به کمک مدل رگرسیون چندخطی پیشبینی دقیق فرسایش ناشی از طوفان را ارائه میدهد [30].

با جمعبندی تحقیقات انجام گرفته تاکنون، تمرکز عمده تحقیقات روی مطالعات مورفودینامیکی ساحل در شرایط طوفانی بوده است. با این حال یکی از شاخصهای مهم در شناخت رفتار ساحل، وضعیت آن در شرایط غیر طوفانی یا پیش و پس از طوفان است (لزوما رفتار تعادلی مد نظر نیست). هدف از این پژوهش بررسی تغییرات خط ساحل و موقعیت سکوی ساحلی در شرایط غیر طوفانی است که به کمک الگوریتمهای یادگیری ماشین پیش بینی روی این عوارض در منطقه ساحلی نارابیین استرالیا انجام میگیرد. ابتدا به کمک روشهای انتخاب ویژگی، پارامترهای مناسب برای انجام پیش بینی انتخاب و سپس به کمک الگوریتم شبکه عصبی پیش بینی توابع هدف انجام میگیرد. در فلوچارت شکل (۱) خلاصه مراحل این پژوهش نشان داده شده است.

شکل ۱. فلوچارت مراحل پژوهش



Fig. 1. Flowchart of the research methodology

۲- مواد و روشها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه نارابین-کلاروی^۱ به طول ۳٫۶ کیلومتر در سواحل شمالی سیدنی واقع شده است. ساحل نارابین در بخـش شـمالی و سـاحل

شکل ۲. نارابیین-کولاروی، نیمرخهای عرضی و موقعیت بویه [31]



Fig. 2. Narrabeen – Collaroy, the position of Cross-shore profiles and deep-water buoy [31]

در این پایگاه از سال ۱۹۷۶ تا پایان ۲۰۱۹ میلادی داده های میدانی در ناحیه کم عمق و نوار ساحلی جمع آوری شده است [31]. کارهای تحقیقاتی دیگری نیز بر اساس داده های این پایگاه انجام گرفته است [32 و 33].

نیمرخهای عرضی در ۵ خط با فواصل ۹۰۰ متر از یکدیگر قرار گرفته و اندازهگیری ها با دقت ۱ متر انجام گرفته است. در شکل (۲) موقعیت نیمرخهای عرضی ۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ نشان داده شده است. در این پژوهش برای به حداقل رساندن میزان خطا، همچنین تغییر در الگوی خطوط ارتوگونال در بخش شمالی و جنوبی محدوده به دلیل وجود دماغههای صخره ای^۲، فقط نیمرخهای شماره ۲، ۴ و ۶ مورد استفاده قرار گرفتهاند. نیمرخهای عرضی ساحل نارابیین از دادههای اولیه استخراج شده و در شکل (۳) نشان داده شدهاند.

کولاروی در بخش جنوبی این منطقه قراره گرفته است. دانـهبنـدی منطقه در امتداد ساحل تقریباً یکنواخت بوده و ماسه کوارتز ریز تـا متوسط (0.3≌D50 میلیمتر) میباشد. در شکل (۲) موقعیت ایـن ساحل در کشور استرالیا، موقعیت نیمرخهای عرضی و بویـه آب عمیق آن محدوده نشان داده شده است.

¹ Narrabeen-Collaroy

متر بوده و پریود حداکثر در محدوده ۳/۲۴ تا ۱۸/۶۲ ثانیه است. امواج با نزدیک شدن به ساحل دچار پدیده انکسار شده و خطوط اورتوگونال آن بر خط ساحل عمود می شوند. این پدیده موجب تغییراتی در مشخصات امواج از آب عمیق به کم عمق می شود. بدین شکل مطلوب است داده های امواج نزدیک به موقعیت برداشت پروفیل ها و در راستای هر پروفیل در نظر گرفته شوند. برای انتقال داده های امواج از آب عمیق به کم عمق، از مدل کد باز برای انتقال داده های امواج از آب عمیق به کم عمق، از مدل کد باز مرای انتقال داده های امواج از آب عمیق به کم عمق، از مدل کد باز برای انتقال داده های امواج از آب عمیق به کم عمق، از مدل کد باز برای انتقال داده های امواج از آب عمیق به کم عمق، از مدل کد باز برای انتقال داده های امواج از آب عمیق به کم عمق، از مدل کد باز برای انتقال داده های امواج از آب عمیق به کم عمق، از مدل کد باز برای انتقال داده می مروفیل منتقل میکند. این مدل برای داده های تغییرات تراز دریا، و درستی آزمایی شده است. همچنین داده های تغییرات تراز دریا، در بازه سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۹ از پایگاه داده ای AVISO استخراج شده است [35]. در شکل (۵) پایگاه داده ای می می مراز کمتر و پس از آن رو به افرایش سری زمانی تغییرات تراز مطح دریا مشاهده می شود. پیش از ژانویه ۲۰۱۳ نرخ افزایش تراز کمتر و پس از آن رو به افرایش است.

هدف از این پژوهش بررسی تغییرات مورفودینامیک ساحل در شرايط غيرطوفاني ميباشد. رونـد تشـخيص نيمـرخهـاي طوفـاني بدین شکل است که ابتدا با شناسایی نیمرخ هایی که سکوی ساحلی آنها حذف شده بود (مقایسه با نیمرخ تعادلی دیـن) را انتخاب نموده سپس تغییرات ارتفاع امـواج در بـازه ۴۸ سـاعت تـا قبل از برداشت نیمرخ رجوع شد. پس از بررسمی تغییرات ارتفاع امواج در این محدوده زمانی مشخص شد که ارتفاع امواج در محدوده زمانی مشخص افزایش قابل توجهی در مقایسه با شـرایط نرمال داشتهاند. همچنین این شرایط در بررسی تغییرات سرعت باد در همان محدوده زمانی مشخص شد. در انتها برای کنترل نهایی، با نیمرخهای طوفانی مستخرج از تصاویر آرگوس پژوهش آقای بيوزن و همكاران كنترل نهايي انجام شـد [28]. بـر ايـن اسـاس از ۹۶۰ نیمرخ ثبت شده، ۷۳ نیمرخ در موقعیت شرایط حاد طوفانی شناسایی شد. در نهایت ۸۸۷ نیم رخ در بازه سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۹ بررسی شده است. به طورکلی در هر ماه حداقل یک نیمرخ برداشت شده و در بعضی ماهها ۴ یا ۵ نیمرخ نیز برداشت شده که زمان تمامی آن ها متفاوت است. لازم به ذکر است که ملاک انتخاب نيمرخ غيرطوفاني پس از اتمام طوفان لحاظ شده است. اما اگر نیمرخی در روند بازسازی پس از طوفان بوده و شرایط محیطی نشان دهنده طوفان نباشد آن نيمرخ در بررسيها لحاظ شده است. شکل ۳. نیمرخهای شماره ۲، ۴ و ۶ ساحل نارابیین استرالیا در بازه سالهای



Fig. 3. Bach profiles No. 2, 4, and 6 of the Narrabeen coast این ساحل در قسمت شمالی دارای تپههای شنی تا ارتفاع ۹ بالاتر از سطح دریا به همراه پوشش گیاهی میباشد. در بخش جنوبی با توسعه شهری به سمت ساحل از ارتفاع این تپهها و پوشش گیاهی آن کاسته شده و به ۳ تا ۴ متر میرسد. این ساحل یکی از پایگاههای مهم دادهای در مهندسی سواحل میباشد.

۲–۲– طبقه بندی دادهها

در سایت تحقیقاتی نارابیین – کولاروی داده های مرتبط با مطالعات مهندسی سواحل به طور پیوسته در بازه سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۹ میلادی جمع آوری شده است. همچنین داده های امواج در محل بویه آب عمیق نشان داده شده در شکل (۲)، از مرکز پیش بینی آب و هوای اروپا^۱ و مجموعه داده ERA5 استخراج شده و بازه زمانی آنها یک ساعته هست [34]. در شکل (۴ الف و ب)، به ترتیب سری زمانی ارتفاع موج مشخصه و پریود موج حداکثر نمایش داده شده است. مجموعا ۲۲۷۱۲ داده موج در نظر گرفته شده است. کمترین و بیشترین ارتفاع امواج به ترتیب ۲۰۴۸ و ۶۵/۶

¹ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts



a) Time series of significant wave height at deep water buoy location





b) Time series of peak wave period at deep water buoy location **Fig.4.** The wave parameters at deep water buoy location, years 2006 to 2019 [34]

شکل ۵. سری زمانی تغییرات تراز آب دریاها در بازه سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۹ [35]



Fig. 5. Time series of sea level rise changes, years 2006 to 2019 [35]

هیدرودینامیک مورد نظر استخراج شده است. دادههای هیدرودینامیک شامل؛ اطلاعات امواج و تغییرات تراز سطح دریا و دادههای مورفودینامیک از نیمرخهای اندازه گیری شده مستخرج شدهاند و در شکل (۶) نشان داده شده است. در ادامه ابتدا تغییرات خط ساحل مورد بررسی قرار گرفته است؛ این محدوده ناحیهای است که بطور پیوسته در تقابل با امواج قرار دارد. پس از آن، تغییرات هندسی سکوی ساحلی مورد بررسی و قرار گرفته که موقعیت آن در محدوده پیشانی ساحل قرار دارد. پس از آمادهسازی دادههای اولیه، پارامترهای مورفودینامیک و



شکل ۴. شماتیک نیمرخ ساحلی به همراه پارامترهای هیدرودینامیک و مورفودینامیک

Fig. 6. Schematic of beach profile along with Hydrodynamic and Morphodynamic parameters

۳- الگوریتمهای یادگیری ماشین

در این پژوهش برای کاهش ابعاد مساله و همچنین فیلتر نمودن اولیه پارامترهای موثر، از روشهای انتخاب ویژگی رو بـه عقـب^۱ استفاده شده است. همچنین برای پیشبینی توابع هدف از الگوریتم شبکه عصبی کمک گرفته شده است.

۳-۱- شبکه عصبی مصنوعی (پیش بینی)

از شبکههای عصبی مصنوعی عموما برای حل مسائل مرتبط با دستهبندی (Classify)، خوشهبندی (Clustering) و رگرسیونی (Regression) استفاده میشود که یکی از رایج ترین آن ها، شبکه عصبی پیشخور^۲ است. این شبکه از چندین لایه متوالی (MLP) تشکیل شده است که هر لایه خروجی خود را در قالب بردار به لایه بعد منتقل میکند. در این مدل، جریان دادهها فقط به صورت یک طرفه اتفاق میافتد [36 و 37]. یکی از روش های حل مسئله در

۳-۲- معیارهای ارزیابی (خطاها)

استفاده از روش های مقایسهای بین نتایج خروجی و مقادیر واقعی توابع هدف، درک بهتر و واضح تری از تحلیل نتایج را ارائه می دهد. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) حاصل از جذر MSE، یکی از پرکاربردترین معیارها است که هم در آموزش و هم در مقایسه مدلها استفاده می شود. دلیل استفاده از آن، یکسان بودن بُعد و مقیاس آن با ویژگی هدف است. همچنین معیار ضریب تعیین یا امتیاز (R²)، برای مقایسه مدلها و گزارش نتایج استفاده می شود. محاسبه خطاها و معیار ضریب تعیین به ترتیب مطابق با معادلات ۱ و ۲ هست:

Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-31

این الگوریتم، روش لونبرگ – مارکوارت^۳ است. این روش یکی از قدرتمندترین روشها برای آموزش شبکههای عصبی چندلایه بوده که از ترکیب الگوریتمهای گرادیان نزولی و گاوس – نیوتن ساخته شده است [38].

¹ Wrapper Backward Feature Selection

² Feed-Forward Network

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - y_i)^2}$$
(1)

$$R^{2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_{i} - y_{i})^{2}}{\sum_{i=1}^{n} (x_{i} - \overline{x})^{2}}$$
(Y)

y، مقادلات بالا n تعداد داده ها، x، مقادیر مشاهده شده، y، مقادر معادلات بالا n مقادر مقادی مشاهداتی هستند.

۴- آنالیز دادهها و تحلیل نتایج

استفاده از پارامترهای نامناسب در الگوریتمهای یادگیری ماشینی می تواند زمان محاسبات را افزایش داده و منجر به یادگیری بر پایه دادههای کم ارتباط و یا نامناسب شود. بدین لحاظ انتخاب پارامترهای تاثیرگذار به کمک الگوریتمهای انتخاب ویژگی به پیش بینی دقیق تر کمک می نماید. به کمک این روش ها پارامترهایی که تاثیر کمتری بر بهبود نتایج پیش بینی داشته و یا منجر به افزایش هزینه محاسبات می شوند، از مجموعه پارامترها حذف شدند. تمامی پارامترهای اولیه در شکل (۶) نشان داده شده است. مطابق با جدول (۱) پارامترهای مناسب انتخابی پس از فیلتر اولیه، به تفکیک توابع هدف نشان داده شده است.

جدول ۱. پارامترهای محیطی موثر برای پیش بینی توابع هدف

Group Parameters	Parameters	Targets
Morphodynamic	ΔBW - Berm Slope - $\Delta x BC$	$\Delta \mathbf{x}$
Hydrodynamic	H _{Mean} - H/L - E - P - ζ - SLR	Shoreline
	Berm Crest Height - Δx	
Morphodynamic	Shoreline - $\Delta x BC$ - Berm Slope	Au PC
	- BW	Ду ВС
Hydrodynamic	H _{Mean} - P - ζ - SLR - L	
	Berm Crest Height - Δx	
Morphodynamic	Shoreline - Δy BC - Berm Slope	
	- BW	ALOC DC
Hydrodynamic	H _{Mean} - P - ζ - SLR - E	

 Table 1. Effective environmental parameters to predict target functions

۴-۱- پیش بینی توابع هدف

تغییرات خط ساحل: در این بخش به کمک الگوریتم شبکه عصبی پیشخور، نتایج بدست آمده از الگوریتم انتخاب ویژگی، سناریوهای DS1 تا DS6 برای پیشبینی تغییرات خط ساحل ساخته شده است. پس از ساخت مدل اولیه و انجام آزمایشهای متعدد، برای رسیدن به نتایج تثبیت شده و قابل اتکا، ۶۵٪ از دادهها (شامل ۵۷۶ نیمرخ) برای

آموزش، ۱۰٪ از دادهها (شـامل ۸۹ نیمـرخ) بـرای ارزیـابی و ۲۵٪ از دادهها (شامل ۲۲۲ نیمرخ) به تست اختصاص داده شد. تعداد لایه های پنهان (نـورون) عـدد ۱۰ در نظـر گرفتـه شـد و روش حـل مسـاله در الگوريتم شبكه عصبي نيز لونبرگ – ماركوارت انتخاب شد. در جدول (۲) ترکیب پارامترهای هر سناریو نشان داده شده است. برای هر سناریو ۳۰ مرتبه آزمایش انجام گرفته و میانگین نتایج با قابلیت اعتماد بیش از ۹۰٪ ارائه شده است. بر این اساس نتایج حاصل از سناریوهای DS1 تا DS6 در شکلهای (۷ و ۸) و خلاصه نتایج آنها درجدول (۳) و شکل (۹) أورده شده است. شکل (۷) نمودار بهینه ترین مدل بر اساس عدد پیچیدگی مدل (Epoch) و مقدار MSE برای هر سناریو است. به عبارتی خطا در طول زمان یا تعداد دوره ای آموزش، به ما نشان میدهد که مدل یادگیری ماشین به چه اندازه خوب یا بـد عمـل میکند کاهش خطا به معنی بهینه شدن مدل است. در شکل (۸) نیـز نمودار R² مربوط به دادههای آموزش و تست برای هـر سـناریو نشـان داده شده که به عنوان یک معیار ارزیابی کمک میکند تا بفهمیم مدلی که آموزش دادهایم چقدر خوب عمل میکند و چه میزان دادهها را توانسته توضیح دهد. جمعبندی نتایج هـر دو شـکل در جـدول (۳) و شكل (٩) أورده شده است.

جدول ۲. سناریوهای ساخته شده به کمک الگوریتم انتخاب ویژگی ها جهت

پیش بینی تغییرات خط ساحل

Effective Parameters
ΔBW
∆BW - Berm Slope
∆BW - Berm Slope - SLR
ΔBW - Berm Slope - SLR - ζ^1
ΔBW - Berm Slope - SLR - ζ - P
ΔBW - Berm Slope - SLR - ζ - P - H _{max}

 Table 2. Creating scenarios with feature selection algorithms to predict shoreline changes

60 فارضه ماني يشق مشاريو ماني مشاعب مشيرات خط مناحل 161 و 600 م	یوهای منتخب تغییرات خط ساحل DS1 تا	ييش بيني سنار	۳. خلاصه نتایج	جدول
--	------------------------------------	---------------	----------------	------

Scenario	RMSE (Train)	R ² (Train)	RMSE (Test)	R ² (Test)
DS1	3.03	93.30	3.96	86.70
DS2	2.96	93.20	3.27	91.80
DS3	2.83	94.00	3.56	91.30
DS4	2.78	94.30	3.03	92.00
DS5	2.69	93.90	3.25	92.50
DS6	2.73	94.10	3.47	92.10

 Table 3. Summary of the results of scenarios DS1 to DS6 for predicting shoreline changes

٧۴

¹ Iribarren



شکل ۷. نمودارهای بهینهترین مدل بر اساس Epoch و MSE در سناریو های منتخب تغییرات خط ساحل DS1 تا DS6



شکل ۹. نمایش خلاصه نتایج آموزش و تست در سناریوهای منتخب پیش بینی تغییرات خط ساحل DS1 تا DS6

Fig. 9. Summary of the results of training and test in scenarios DS1 to DS6 in shoreline changes chart A shows training data and chart B test data

به همراه پارامترهای تغییرات عرض سکوی بـرم، شـیب بـرم، تـراز سطح دریا و اندیس شکست مـوج بـه عنـوان سـناریو نهـایی بـرای پیش بینی مناسب تغییرات خط ساحل با مقادیر RMSE، ۳/۰۳ متـر و R3، ۹۲٪ نتایج قابل قبولی را ارائه نموده است.

تغییرات ارتفاعی تاج سکوی ساحلی: در این بخش پیش بینی روی تغییرات ارتفاعی تاج سکوی ساحلی انجام گرفته است که ساختار مدل پیش بینی مشابه با بخش تغییرات خط ساحل لحاظ شده است. همچنین مطابق با پارامترهای بدست آمده از الگوریتم انتخاب ویژگی، سناریوهای 1Y1 تا DY6 مطابق با جدول (۴) ساخته شدهاند. بر اساس نتایج بدست آمده، در شکل (۱۰) نمودار بهینه ترین مدل بر اساس عدد Poch و مقدار MSE ، شکل (۱۱) نمودار ² مربوط به داده های آموزش و آزمایش برای هر سناریو و خلاصه نتایج هر دو شکل درجدول (۵) و شکل (۱۲) آورده شده است. مطابق با شکل (۹)، در نمودار <u>A</u> (دادههای آموزش)، روند تغییرات RMSE با شیب نسبتا کم و نزولی بوده همچنین روند تغییرات ² نیز با اختلاف مقادیر کم تا سناریو DS4 صعودی است. به طور کلی اختلاف معاداری در مقایسه سناریوها مشاهده نشده است. در نمودار <u>B</u> (دادههای آزمایش) نیز تغییرات خطای RMSE با شیب ملایم تا سناریو DS4 روند نزولی گرفته و تغییرات ² نیز شیب ملایم تا سناریو DS4 روند نزولی گرفته و تغییرات ² بیز این در سناریو B بدست آمده است. کاهش میزان خطا در سناریو BS4 در مقایسه با سناریو BS3 به میزان ۱۷٪ و در مقایسه با سناریو JS4 در مقایسه با میناریو BS4 به میزان ۱۷٪ و در مقایسه با سناریو JS4 در مقایسه د کاهش در خطا مشاهده می شود. همچنین در مقادیر ² اختلاف معناداری بین سناریوهای DS3 تا S55 مشاهده نمی شود. در آزمایش های انجام گرفته و با بررسی نتایج مشخص می شود که؛ میچ گونه بیش برازش یا کم برازشی برای سناریوهای IS3 تا DS6 تا رخ نداده است. به عنوان نتیجه گیری کلی در این بخش سناریو DS4 در رخ نداده است. به عنوان نتیجه گیری کلی در این بخش سناریو DS4 تا

جدول ۴. سناریوهای ساخته شده به کمک الگوریتم انتخاب ویژگیها جهت پیشبینی تغییرات ارتفاعی تاج سکوی ساحلی

Scenario	Effective Parameters
DY1	Berm Crest Height
DY2	Berm Crest Height - Δx Shoreline
DY3	Berm Crest Height - Δx Shoreline - ΔxBC
DY4	Berm Crest Height - Δx Shoreline - ΔxBC - P
DY5	Berm Crest Height - Δx Shoreline - ΔxBC - P - H _{mean}
DY6	Berm Crest Height - Δx Shoreline - ΔxBC - P - H _{mean} - SLR

Table 4. Creating scenarios with feature selection algorithms to predict berm crest elevation variation

جدول ۵. خلاصه نتایج پیش بینی سناریوهای منتخب تغییرات ارتفاعی تاج سکوی ساحلی DY1 تا DY6

Scenario	RMSE (Train)	R ² (Train)	RMSE (Test)	R ² (Test)
DY1	0.48	55.50	0.46	45.93
DY2	0.46	51.86	0.52	55.38
DY3	0.33	80.27	0.38	73.97
DY4	0.33	80.81	0.35	74.33
DY5	0.32	81.45	0.40	73.80
DY6	0.33	82.10	0.37	70.13



Table. 5. Summary of the results of scenarios DY1 to DY6 for predicting the berm crest elevation variation

Fig 11. Graphs of R^2 % results of train and test for scenarios DY1 to DY6 in the berm crest elevation variation



شکل ۱۲. نمایش خلاصه نتایج آموزش و پیش بینی در سناریوهای منتخب تغییرات ارتفاعی تاج سکوی ساحلی DY1 تا DY6

Fig. 12. Summary of the results of training and test in scenarios DY1 to DY6 for berm crest elevation variation chart A shows training data and chart B test data

مطابق با پارامترهای بدست آمده از الگوریتم انتخاب ویژگی، سناریوهای DX1 تا DX7 مطابق با جدول (۶) ساخته شده اند. نتایج حاصل در شکلهای (۱۳، ۱۴)و خلاصه نتایج آنها درجدول (۷) و شکل (۱۵) آورده شده است. در شکل (۱۳) نمودار بهینه ترین مدل بر اساس معیار پیچیدگی مدل و مقدار MSE برای هر سناریو نشان داده شده است. در شکل (۱۳) نیز نمودار برآیند R² برای هر سناریو نشان داده شده است.

جدول ۶. سناریوهای ساخته شده به کمک الگوریتم انتخاب ویژگی ها جهت پیش بینی موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی

Scenario	Effective Parameters
DX1	BW
DX2	BW - Berm Slope
DX3	BW - Berm Slope - ΔyBC
DX4	BW - Berm Slope - ΔyBC - Berm Crest Height
DX5	BW - Berm Slope - ΔyBC - Berm Crest Height - E
DX6	BW - Berm Slope - Δ yBC - Berm Crest Height - E - SLR
DX7	BW - Berm Slope - ΔyBC - Berm Crest Height - E - SLR - ζ

 Table 6. Creating scenarios with feature selection algorithms to predict the horizontal position of the berm crest

ناج سكوي	قعیت افقی ن	منتخب مو	سناريوهاي	پیش بینی	علاصه نتايج	V	جدول
----------	-------------	----------	-----------	----------	-------------	---	------

ساحلی DX1 تا DX7

Saanania	RMSE	\mathbf{R}^2	RMSE	R ²
Scenario	(Train)	(Train)	(Test)	(Test)
DX1	11.17	79.50	11.90	72.00
DX2	11.05	79.06	11.45	78.60
DX3	10.60	81.00	10.94	79.00
DX4	10.00	83.30	10.84	79.90
DX5	9.75	83.20	10.40	82.50
DX6	9.16	86.10	10.40	81.90
DX7	8.10	89.20	9.28	85.85

 Table 7. Summary of the results of scenarios DX1 to DX7 for predicting the horizontal position of the berm crest
 براساس شکل (۱۲)، در نمودار <u>A</u> (داده های آموزش)، روند تغییرات RMSE با شیب زیاد و نزولی تا سناریو شماره DY3 ادامه داشته و در سناریوهای DY3 تا DY6 با شیب نسبتا ثابت و تغییرات ناچیز پیش میروند. همچنین تغییرات ²R تا سناریو شماره DY3 با شیب زیاد صعودی بوده و از سناریو DY3 تا سناریو MY3 و DY4 با شیب زیاد صعودی بوده و از سناریو BY3 تا سناریو DY4 تغییرات ناچیز است. داده های آموزش سناریو های DY3 و DY4 بهترین عملکرد را نشان میدهند. در نمودار <u>B</u> (داده های تست) نیز تغییرات خطای RMSE تا سناریو DY4 دارای روند نزولی با شیب زیاد می باشد، که کاهش در خطا به میزان ۲۳٪ نسبت به سناریو اختلاف خطا در سناریو DY4 نسبت به سناریو JY3 دارای روند نزولی با شیب تغییرات ²R می باشد، که کاهش در خطا به میزان ۳۵٪ نسبت به سناریو DY1 و ۸٪ نسبت به سناریو DY3 دارای روند نزولی با شیب اختلاف خطا در سناریو DY4 نسبت به سناریو JY3 دارای میده. میزات ²R می باشد. که کاهش در خطا به میزان ۳۵ از میده. می می دارای روند صعودی با شیب نسبتا زیاد تا سناریو DY4 می باشد. در داده های آموزش سناریو های DY3 و DY4 و DY4 می باشد. در داده مای آموزش سناریو های DY3 و DY4 و DY4 می باشد. در داده مای آموزش سناریو می DY4 و DY4 می از دارای روند دارای روند تا به میزان می ده در DY4 و DY4 می باشد. در داده مای آموزش سناریو BY4 و DY4 و DY4 و DY4 و DY4

در سناریوهای DY3 تا DY6 هیچ گونه بیش برازش یا کم برازشی مشاهده نشده است ولی در سناریو های DY1 و DY2 شرایط کم برازشی مشاهده شده است. سناریو DY4 به همراه پارامترهای ارتفاع تاج سکوی برم، تغییرات خط ساحل، تغییرات افقی تاج سکوی برم و توان موج به عنوان سناریو نهایی برای پیش بینی مناسب تغییرات ارتفاعی تاج سکوی ساحلی انتخاب شده است.

موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی: در این بخش پیشبینی موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی انجام گرفته است که ساختار مدل پیشبینی مشابه با بخشهای قبل لحاظ شده است. همچنین



شکل ۱۳. نمودارهای بهینه ترین مدل بر اساس عدد Epoch و مقدار MSE در سناریو های منتخب موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی DX1 تا DX7 تا MSE

Fig. 13. The optimal model based on the Epoch and the MSE for scenarios DX1 to DX7 for the horizontal position of the berm crest



شکل 1۵. نمایش خلاصه نتایج آموزش و پیش بینی در سناریوهای منتخب موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی DX1 تا DX7 تا

Fig. 15. Summary of the results of training and predicting in scenarios DX1 to DX6 in the horizontal position of the berm crest Chart A shows training data and Chart B test data



شکل ۱۴. نمودارهای R²% داده های آموزش و تست در سناریوهای منتخب موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی DX1 تا DX7

Fig. 14. Graphs of R²% results of train and test for scenarios DX1 to DX7 in the horizontal position of the berm crest

(دادههای تست) نیز روند تغییرات RMSE با شیب زیاد و نزولی تا سناریو DX7 ادامه دارد. میزان کاهش خطا از سناریو DX1 تا DX7، TY: میباشد. در مقایسه سناریو DX7 با سناریو DX6 میزان کاهش خطا ۱۰/۷٪ میباشد. تغییرات R² نیز دارای شیب صعودی بوده و میزان تغییرات از سناریو DX1 تا DX7 نزدیک به ۱۴٪ است. در تستهای انجام گرفته روی سناریوهای DX3 تا DX7 هیچ گونه بیشبرازشی یا کمبرازشی مشاهده نشده است اما در سناریو های DX1 و DX2 شرایط کم برازشی مشاهده می شود.

براساس شکل (۱۵)، نمودار <u>A</u> (دادههای آموزش)، روند تغییرات RMSE شیب زیاد و نزولی تا سناریو شماره DX7 میباشد. میزان کاهش خطا از سناریو DX1 تا TXD، ۲۷٪ بوده است. همچنین با مقایسه سناریو TX7 نسبت به سناریو ماقبل DX6 نیز میزان کاهش خطا عدد نسبتا بالای ۱۱٪ میباشد. تغییرات R² نیز دارای شیب صعودی بوده و میزان تغییرات از سناریو DX1 در DX1 تا TX7، نزدیک به ۱۰٪ میباشد. بر این اساس سناریو TX3 در بخش دادههای آموزش بهترین عملکرد را داشته است. در بخش <u>B</u>

سناریو DX7 به عنوان سناریو نهایی به همراه پارامترهای عرض سکوی برم، شیب سکوی برم، تغییرات ارتفاعی تاج سکوی برم، ارتفاع سکوی برم، انرژی موج، تراز سطح دریا و اندیس شکست موج به عنوان سناریو نهایی برای پیشبینی مناسب موقعیت افقی سکوی ساحلی انتخاب می شود. همچنین نتایج نشان داد که؛ پارامتر اندیس شکست موج تاثیر زیادی در بهبود عملکرد پیشبینی ارائه می نماید.

۵– بحث و گفت و گو

تغییرات خط ساحل: مطابق با نتایج بدست آمده، پیشبینی تغییرات خط ساحل در ۶ سناریو نشان داد که؛ سناریو DS4 با RMSE برابر با ۳٬۰۳ متر و ²R برابر با ۹۲٪ به عنوان سناریو نهایی برای پیشبینی تغییرات خط ساحل انتخاب شد که شامل پارامترهای SLR Bern Slope ΔBW و کم هست. برای تایید نتایج سناریو انتخابی به کمک هیستوگرام خطا که شامل اختلاف مقادیر توابع هدف و خروجی الگوریتم شبکه عصبی است، با مقایسه نزدیکترین سناریوها به سناریو انتخابی یعنی سناریوهای

DS3 و DS5 می توان برای مقایسه و تایید نتیجه بدست آمده استفاده نمود. در شکل (۱۶) هیستوگرام خطای سناریوهای DS3 تا DS5 نشان داده شده است. اختلاف خطاهای تابع هدف و خروجی در سناریو DS4 در محدوده خطای صفر متمرکز است و تعداد بیشتری از دادهها را درمقایسه با دو سناریوی دیگر پوشش میدهد. بر این اساس نتایج بدست آمده مورد تایید است.

تغییرات ارتفاعی تاج سکوی ساحلی: نتایج ۶ سناریو تغییرات ارتفاعی تاج سکوی ساحلی نشان داد که؛ سناریو DY4 با RMSE برابر با ۳۵/۰ متر و ²R برابر با ۷۵٪ به عنوان سناریو نهایی متخاب شد. این سناریو شامل پارامترهای ASC، Shoreline مxBC نتخاب شد. این سناریو شامل پارامترهای DY4 می و Berm Crest Height DY4 و بعد از سناریو انتخابی با مقایسه هیستوگرام خطای سناریوهای قبل و بعد از سناریو DY4 در شکل (۱۷) مشخص می شود که اختلاف خطاهای تابع هدف و خروجی در سناریو DY4، با بیش از ۵۰۰ داده با خطای زیر ۱۰/۰ متر، با اختلاف بهتر از دو سناریو دیگر می باشد که سناریو انتخابی را تایید می کند.

شکل ۱۶. هیستوگرام خطای اختلاف مقادیر تابع هدف و پیش بینی در تغییرات خط ساحل، سناریوهای DS3 تا DS3



Fig. 16. Histogram showing the difference between the error of the objective function and the output of scenarios from DS3 to DS5 in shoreline changes

شکل ۱۷. هیستوگرام خطای اختلاف مقادیر تابع هدف و پیش بینی در تغییرات ارتفاعی تاج سکوی ساحلی، سناریوهای DY3 تا DY5



Fig. 17. Histogram showing the difference between the error of the objective function and the output of scenarios from DY3 to DY5 in berm crest elevation variation

موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی: پیش بینی موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی در ۷ سناریو نشان داد که؛ سناریو DX7 با RMSE برابر با ۹/۲۸ متر و ²R برابر با ۸۵/۸۰٪ به عنوان سناریو نهایی، شامل پارامترهای BW، Berm Crest مyBC، Berm Slope ایک SLR ، E، Height و کم انتخاب شد. برای تایید سناریو انتخابی، هیستوگرام خطای آن با سناریو قبلی در شکل (۱۸) مقاسیه شده

است. اختلاف خطاهای تابع هدف و خروجی کمتر از ۶ متر در سناریو DX7، تقریبا تعداد ۶۰۰ داده را پوشش می دهد اما در سناریو DX6 این عدد ۴۴۵ داده می باشد. در نتیجه سناریو DX7 توانسته است داده های بیشتری را با خطای کمتر پیش بینی نماید که نتیجه بدست آمده را تایید می کند.

شکل ۱۸. هیستوگرام خطای اختلاف مقادیر تابع هدف و پیشبینی در موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی، سناریوهای DX6 و DX7



Fig. 18. Histogram showing the difference between the error of the objective function and the output of scenarios DX6 and DX7 in the horizontal position of the berm crest

۶- نتیجه گیری

در این پژوهش؛ به کمک الگوریتمهای یادگیری ماشین، پیش بینی عارضه های مورفودینامیک (توابع هدف) ناحیه ساحلی نارابیین استرالیا در شرایط غیر طوفانی انجام گرفته است. در بخش اول این پژوهش به کمک الگوریتم های انتخاب ویژگی (Wrapper اول این پژوهش به کمک الگوریتم های انتخاب ویژگی (Wrapper پیش بینی توابع هدف فیلتر شده تا پارامترهای کم تاثیر و یا نامناسب از محاسبات حذف شوند. سپس در ادامه سناریوهای مناسب توابع هدف ساخته شده اند. و در بخش نهایی نیز از الگوریتم شبکه عصبی پیشخور برای پیش بینی کمک گرفته شده است.

<u>انتخاب ویژگی:</u> با شناسایی پارامترهای هیدرودینامیک و مورفودینامیک، در مجموع ۲۲ پارامتر شناسایی شد و پس از فیلتر نمودن آنها، سناریو های مناسب پیش بینی ساخته شدند. بر این اساس پیش بینی تغییرات خط ساحل به کمک ۶ سناریو DS1 تا DS6 پیش بینی تغییرات ارتفاعی تاج سکوی ساحلی به کمک ۶ سناریو DY1 تا DY6 و پیش بینی موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی به کمک ۷ سناریو DX1 تا DX7 انجام گرفت.

پیش بینی: در گام اول پیش بینی تغییرات خط ساحل (خط

ساحل بحرانی ترین مکان در هر ساحل میاشد) برای ساخت مدل اولیه با بهترین هایپر پارامترها بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان داد که سناریو DS4 با ۳/۰۳ RMSE متر و ۹۲ R² عملکرد قابل قبولی در پیش بینی تغییرات خط ساحل دارد. همچنین با مقایسه هیستوگرام خطای اختلاف مقادیر پیشبینی و تابع هدف نیز مشخص شد که سناریو DS4 تعداد بیشتری از داده ها را با خطای کمتر پیش بینی نموده است. در گام دوم پیش بینی تغییرات ارتفاعی تاج سکوی ساحلی با همان مدل ساخته شده در گام اول انجام گرفت. نتایج بدست آمدہ نشان داد کے سناریو DY4 با RMSE ۰/۳۵ متر و R² کا ۷۵٪ توانایی مناسبی در پیش بینی تغییرات ارتفاعی تاج سکوی ساحلی دارد. همچنین با مقایسه هیستوگرام خطای اختلاف مقادیر پیش بینی و تابع هدف نیز مشخص شد کـه سـناریو DY4 توانسته است نزدیک به ۵۰۰ داده را با خطای کمتر از ۱/۱۰ متر پیش بینی نماید که عملکرد مناسب آن را تایید مینماید. در گام سوم نیز پیش بینی موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی مشابه با گام های قبلی انجام گرفته است. نتایج نشان میدهـد کـه سـناریو DX7 با A/۲۸ RMSE متر و ۸۵/۸۰ R² عملکرد خوبی در پیش بینی موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی ارئه نموده است. در ادامه ارزیابی هیستوگرام خطای اختلاف مقادیر پیش بینی و تـابع هـدف ت*قد*یر و تشکر

اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق حاصل تلاش پژوهشگران بسیاری در سراسر جهان هست؛ جمع آوری داده های ساحلی استرالیا در ارتباط با پروژه های تحقیقاتی مراکز مطالعاتی و دانشگاهی این کشور؛ مجموعه داده های هواشناسی از European داده های دوmter for Medium-Range Weather Forecasts تغییرات تراز آب دریا از پایگاه داده ای AVISO. از تلاش های تمامی پژوهشگرانی که کمک نمودند تا این پژوهش انجام گیرد، تقدیر و سپاس فراوان داریم.

References

- [1] Alves, B., Angnuureng, D.B., Morand, P. and Almar, R., 2020. A review on coastal erosion and flooding risks and best management practices in West Africa: what has been done and should be done. *Journal of Coastal Conservation*, 24(3), p.38.
- [2] Puplampu, D.A., Iddris, K., Alorbu, V., Asante, J.O., Takaman, J.L. and Owusu, A.B., 2023. Shoreline change analysis of the eastern coast of Ghana between 1991 and 2020. *Journal of Environmental Geography*, *16*(1-4), pp.11-21. https://doi.org/10.14232/jengeo-2023-44339.
- [3] Ahmed, N., Howlader, N., Hoque, M.A.A. and Pradhan, B., 2021. Coastal erosion vulnerability assessment along the eastern coast of Bangladesh using geospatial techniques. *Ocean & Coastal Management*, 199, p.105408. https://doi.org/10.1007/s11852-020-00755-7.
- [4] Baig, M.R.I., Ahmad, I.A., Shahfahad, Tayyab, M. and Rahman, A., 2020. Analysis of shoreline changes in Vishakhapatnam coastal tract of Andhra Pradesh, India: an application of digital shoreline analysis system (DSAS). *Annals of GIS*, 26(4), pp.361-376.
- [5] Zollini, S., Dominici, D., Alicandro, M., Cuevas-González, M., Angelats, E., Ribas, F., & Simarro, G. (2023). New Methodology for Shoreline Extraction Using Optical and Radar (SAR) Satellite Imagery. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(3). https://doi.org/10.3390/jmse11030627.
- [6] Rangel-Buitrago, N., Neal, W.J. and de Jonge, V.N., 2020. Risk assessment as tool for coastal erosion management. *Ocean & Coastal Management*, 186. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105099.
- [7] Liew, M., Xiao, M., Jones, B.M., Farquharson, L.M. and Romanovsky, V.E., 2020. Prevention and control measures for coastal erosion in northern high-latitude communities: A systematic review based on Alaskan case studies. *Environmental Research Letters*, 15(9) https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab9387.
- [8] Fernández-Montblanc, T., Duo, E. and Ciavola, P., 2020. Dune reconstruction and revegetation as a

نشان داد که این سناریو تقریبا ۶۰۰ داده را با خطای کمتر از ۶ متر پوشش میدهد. از آنجایی که موقعیت تاج سکوی ساحلی در بازههای زمانی مختلف ایجاد متحمل تغییرات زیادی میشود، نتایج بدست آمده قابلیت اعتماد مناسبی دارند.

با بررسی نتایج بدست آمده در پیشبینی سه تابع هدف تغییرات خط ساحل، تغییرات ارتفاعی و موقعیت افقی تاج سکوی ساحلی میتوان نتیجه گرفت که؛ الگوریتم شبکه عصبی توانایی بالایی در پیش بینی تغییرات مورفودینامیک ساحلی دارد. همچنین استفاده از الگوریتم های انتخاب ویژگی میتواند برای کاهش ابعاد مساله و کمک به انتخاب پارامترهای مناسب با ارتباط بیشتر کمک نماید.

potential measure to decrease coastal erosion and flooding under extreme storm conditions. Ocean & Coastal Management, 188. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105075.

- [9] Flor-Blanco, G., Alcántara-Carrió, J., Jackson, D.W.T., Flor, G. and Flores-Soriano, C., 2021. Coastal erosion in NW Spain: Recent patterns under extreme storm wave events. *Geomorphology*, 387. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107767.
- [10] Lemke, L. and Miller, J.K., 2021. Role of storm erosion potential and beach morphology in controlling dune erosion. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12). https://doi.org/10.3390/jmse9121428.
- [11] Harley, M.D., Masselink, G., Ruiz de Alegría-Arzaburu, A., Valiente, N.G. and Scott, T., 2022. Single extreme storm sequence can offset decades of shoreline retreat projected to result from sea-level rise. *Communications Earth & Environment*, 3(1), p.112. https://doi.org/10.1038/s43247-022-00437-2.
- [12] Zheng, P., Gumbira, G., Li, M., Van der Zanden, J., van der Werf, J., Chen, X. and Tang, X., 2023. Development, calibration and validation of a phase-averaged model for cross-shore sediment transport and morphodynamics on a barred beach. *Continental Shelf Research*, 258. https://doi.org/10.1016/j.csr.2023.104989.
- [13] Ohenhen, L.O., Shirzaei, M., Ojha, C. and Kirwan, M.L., 2023. Hidden vulnerability of US Atlantic coast to sealevel rise due to vertical land motion. *Nature Communications*, 14(1). https://doi.org/10.1038/s41467-023-37853-7.
- [14] Toimil, A., Camus, P., Losada, I.J., Le Cozannet, G., Nicholls, R.J., Idier, D. and Maspataud, A., 2020. Climate change-driven coastal erosion modelling in temperate sandy beaches: Methods and uncertainty treatment. *Earth-Science Reviews*, 202. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103110.
- [15] den Bieman, J.P., van Gent, M.R. and van den Boogaard, H.F., 2021. Wave overtopping predictions

using an advanced machine learning technique. *Coastal Engineering*, 166. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103830.

- [16] Yin, C., Anh, D.T., Mai, S.T., Le, A., Nguyen, V.H., Nguyen, V.C., Tinh, N.X., Tanaka, H., Viet, N.T., Nguyen, L.D. and Duong, T.Q., 2021. Advanced machine learning techniques for predicting nha trang shorelines. *IEEE access*, 9, pp.98132-98149 https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3095339.
- [17] Bellinghausen, K., Hünicke, B. and Zorita, E., 2023. Short-term prediction of extreme sea-level at the Baltic Sea coast by Random Forests. *Natural Hazards* and Earth System Sciences Discussions, 2023, pp.1-48 https://doi.org/10.5194/nhess-2023-21.
- [18] Beuzen, T. and Splinter, K., 2020. Machine learning and coastal processes. In Sandy beach morphodynamics, pp. 689-710. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102927-5.00028-X.
- [19] Goldstein, E.B., Coco, G. and Plant, N.G., 2019. A review of machine learning applications to coastal sediment transport and morphodynamics. *Earth-science reviews*, 194, pp.97-108. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.022.
- [20] Azad, M. and Uddin, M.A., 2022. Prediction of Offshore Wave at East Coast of Malaysia—A Comparative Study. *Electronics*, 11(16). https://doi.org/10.3390/electronics.
- [21] Chen, H., Yunus, A.P., Nukapothula, S. and Avtar, R., 2022. Modelling Arctic coastal plain lake depths using machine learning and Google Earth Engine. *Physics* and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c, 126. https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103138.
- [22] Luppichini, M., Bini, M., Berton, A., Casarosa, N., Merlino, S., and Paterni, M., 2022. A method based on beach profile analysis for shoreline identification. In *Ninth International Symposium "Monitoring of Mediterranean Coastal Areas: Problems and Measurement Techniques*, pp. 47–60. Firenze University Press. https://doi.org/10.36253/979-12-215-0030-1.05.
- [23] Pradeep, J., Shaji, E., Chandran, S., Ajas, H., Chandra, S.V., Dev, S.D. and Babu, D.S., 2022. Assessment of coastal variations due to climate change using remote sensing and machine learning techniques: A case study from west coast of India. *Estuarine, Coastal and Shelf* Science, 275 https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107968.

- [24] Xu, G., Ji, C., Wei, H., Wang, J. and Yuan, P., 2023. A novel ensemble model using artificial neural network for predicting wave-induced forces on coastal bridge decks. *Engineering with Computers*, 39(5), pp.3269-3292. https://doi.org/10.1007/s00366-022-01745-z
- [25] Senechal, N., Peron, C. and Coco, G., 2023. ON the use of Artificial Neural Networks to Explore Morphological and Hydrodynamic Parameters in Shoreline Dynamics. In *Coastal Sediments 2023: The Proceedings of the Coastal Sediments 2023*, pp. 395-400.
- [26] Dalinghaus, C., Coco, G. and Higuera, P., 2023. Using genetic programming for ensemble predictions of wave setup. In *Coastal Sediments 2023: The Proceedings of the Coastal Sediments 2023*, pp. 1933-1939.
- [27] Beuzen, T., Marshall, L. and Splinter, K.D., 2018. A comparison of methods for discretizing continuous variables in Bayesian Networks. *Environmental modelling & software*, 108, pp.61-66. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.07.007.
- [28] Beuzen, T., Splinter, K.D., Marshall, L.A., Turner, I.L., Harley, M.D. and Palmsten, M.L., 2018. Bayesian Networks in coastal engineering: Distinguishing descriptive and predictive applications. *Coastal Engineering*, 135, pp.16-30. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2018.01.005.
- [29] Zeinali, S., Dehghani, M. and Talebbeydokhti, N., 2021. Artificial neural network for the prediction of shoreline changes in Narrabeen, Australia. *Applied Ocean Research*, 107. https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102362.
- [30] Harley, M., Ibaceta, R., Leaman, C., Splinter, K. and Turner, I., 2023. Data-Driven modeling of coastal storm erosion: Narrabeen beach, Australia. In *Coastal Sediments* 2023: *The Proceedings of the Coastal Sediments* 2023, pp. 314-320. https://doi.org/10.1142/9789811275135_0028.
- [31] Turner, I.L., Harley, M.D., Short, A.D., Simmons, J.A., Bracs, M.A., Phillips, M.S. and Splinter, K.D., 2016. A multi-decade dataset of monthly beach profile surveys and inshore wave forcing at Narrabeen, Australia. *Scientific data*, 3(1), pp.1-13. https://doi.org/10.1038/sdata.2016.24.
- [32] Jaramillo, C., Jara, M.S., González, M. and Medina, R., 2021. A shoreline evolution model for embayed beaches based on cross-shore, planform and rotation equilibrium models. *Coastal Engineering*, 169. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2021.103983

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم؟

Jabari Khameneh, A., Adjami, M. and Gharachelo, S., 2025. Prediction of Coastal Berm Size and Location Changes in Non-Storm Conditions using ANN. *Modares Civil Engineering journal*, 25(2), pp.67-84.

DOI: 10.22034/25.2.67

